

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10270755 A

(43) Date of publication of application: 09.10.98

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 A3  
H01S 3/18

(21) Application number: 09069879

(22) Date of filing: 24.03.97

(71) Applicant:

NICHIA CHEM IND LTD

(72) Inventor:

SANO MASAHIKO  
NAKAMURA SHUJI

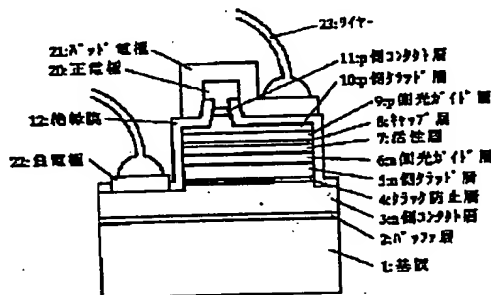
## (54) NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain superior ohmic contact of low Mg concentration by forming a positive electrode, containing at least Ru and Ni, on the surface of a p-type nitride semiconductor layer doped with p-type impurities.

**SOLUTION:** A buffer layer 2, an n-side contact layer 3, an anti-crack layer 4, an n-side clad layer 5, an n-side optical guide layer 6, an active layer 7, a p-type cap layer 8, a p-side optical guide layer 9 and a p-side clad layer 10 are laminated on a sapphire substrate 1 in this order, and after this, a p-side contact layer 11 comprising p-type GaN doped with Mg is formed, and then a positive electrode 20 comprising an alloy containing Ru and Ni by 50% each is formed on the entire surface of the uppermost layer. When Mg concentration becomes  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , superior ohmic is obtained with Ru/Ni, and by using such a positive electrode containing Ru and Ni as this, superior ohmic contact of low Mg concentration is obtained.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-270755

(43) 公開日 平成10年(1998)10月9日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

E

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号

特願平9-69879

(22) 出願日

平成9年(1997)3月24日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 佐野 雅彦

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

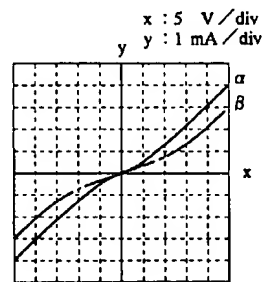
学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

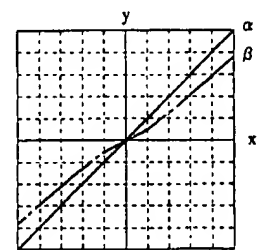
(57) 【要約】

【目的】 結晶性の良い窒化物半導体よりなる基板の製造方法と、窒化物半導体基板を用いた素子の新規な製造方法を提供する。

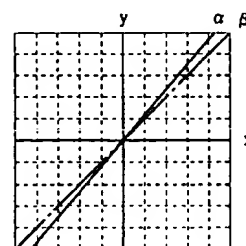
【構成】 p型不純物がドーパされたp型窒化物半導体層表面に、少なくともルテニウム(Ru)とニッケル(Ni)とを含む正電極が形成されていることにより、少ないp型不純物濃度でもオーミック性に優れた正電極が形成できるので、p層の結晶性が良くなる。



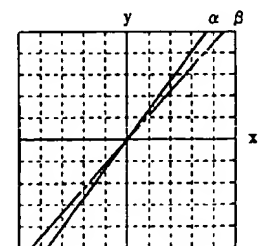
(a)



(b)



(c)



(d)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型不純物がドーブされたp型窒化物半導体層表面に、少なくともルテニウム(Ru)とニッケル(Ni)とを含む正電極が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記p型窒化物半導体層は、Mgが $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上、 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以下ドーブされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記p型窒化物半導体層の膜厚が400オングストローム以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはトランジスタ等の電子デバイスに使用される窒化物半導体( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ )よりなる素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号等で最近実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)の $\text{InGaIn}$ よりなる活性層を有するダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長は $\text{InGaIn}$ 活性層のIn組成比を増減することで決定されている。

【0003】また、本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流において、室温での410nmのレーザ発振を発表した(例えば、Appl. Phys. Lett., Vol. 69, No. 10, 2 Sep. 1996, p. 1477-1479)。このレーザ素子はサファイアA面上に、n型窒化物半導体層、活性層、p型窒化物半導体層が順に形成され、そのp型窒化物半導体層の一部にリッジストラップが形成された構造を有しており、例えばパルス電流(パルス幅 $1 \mu\text{s}$ 、パルス周期 $1 \text{ms}$ 、デューティー比0.1%)で、閾値電流187mA、閾値電流密度 $3 \text{kA}/\text{cm}^2$ において、410nmのレーザ光を発振する。

【0004】これらの発光素子はいずれもp型層とn型層との間に発光する活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有しており、最上層のp層にはNi合金よりなる正電極が設けられている。Ni合金の正電極はp型窒化物半導体と良好なオーミック接触が得られ、さらに窒化物半導体との接着性にも優れており、現在、有用な電極となっている。

【0005】Ni合金の正電極の他にも、p型窒化物半導体の電極材料が提案されている。例えば特開平8-3

2115号公報には金属性窒化物と、金属性水素化物(水素貯蔵金属)とを含む電極が示されており、具体的には金属性水素化物にはPd、金属性窒化物にはTi、Hf、Nb等が示されている。また、特開平7-249797号公報にはCrとAuよりなる電極が示されている。さらに特開平5-315647号公報にはAg、Au、Pt、Ir、Pd、Rh等の金属単体、あるいは合金が用いられることが示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】p型窒化物半導体はアニール、電子線照射等の技術により得られることが知られているが、p型が得られたと言ってもその抵抗率は数十 $\Omega \cdot \text{cm}$ ~数百 $\Omega \cdot \text{cm}$ と非常に高い。しかも、p型不純物を高濃度にドーブしても実際にキャリアとして働くp型不純物はドーブ量の $1/100$ 程度に過ぎず、実際のキャリア濃度は $10^{17} \sim 10^{18}/\text{cm}^3$ しかないため、p型窒化物半導体と良好なオーミック接触が得られる金属は数少ない。さらに窒化物半導体にp型不純物を高濃度にドーブするとp型窒化物半導体の結晶性が悪くなり、電気的特性も悪くなり、なおオーミックが取りにくいという欠点もある。

【0007】低不純物濃度のp型窒化物半導体と好ましいオーミックを得ることができれば、電流注入層としてのコンタクト層であるp型窒化物半導体の結晶性が良いため、長寿命の素子を実現できることが期待される。従って、本発明の目的とするところは、p型不純物のドーブ量が少ない範囲でもp型窒化物半導体と安定して好ましいオーミック接触が得られた正電極を有する窒化物半導体素子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物半導体素子は、p型不純物がドーブされたp型窒化物半導体層表面に、少なくともRuとNiとを含む正電極が形成されていることを特徴とする。

【0009】正電極が形成されるp型窒化物半導体は、Mgが $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以上、 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以下ドーブされていることを特徴とする。Mgが $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ よりも少ないと十分なキャリア濃度が得られず、オーミック接触を得ることが難しい傾向にあり、 $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ よりも多いと、p型窒化物半導体層の結晶性が悪くなり、素子寿命が短くなる傾向にある。

【0010】さらに、前記p型窒化物半導体層の膜厚が400オングストローム以下であることを特徴とする。正電極を形成するp型窒化物半導体層の膜厚を薄くすることにより、p型窒化物半導体自体の直列バルク抵抗が下がり、コンタクト層均一に電流が広がりやすくなる。

【0011】

【発明の実施の形態】図1はp型GaInに形成された電極の電流電圧特性を示す図であり、具体的にはMgがド

ープされたp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>に対して、本発明のRuとNiとを含む電極(α)と、従来のNiとAuを含む電極(β)との電流電圧特性を比較して示す図である。これはMgドープGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層の表面にそれぞれの合金よりなる電極を少なくとも2箇所蒸着した後、不活性ガス雰囲気中、400℃以上で、5分間アニーリングしてから、同一種類の電極間の電流電圧特性を測定したものである。この図において(a)はMgを $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 含み、(b)は $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、(c)は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、(d)は $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 含んでいる。

【0012】この図に示すようにMg濃度が $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ では未だp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>のキャリア濃度が低いためにNi/Au電極ではショットキーバリアに近くなっている。一方、Ni/RuはNi/Auに比べて接触抵抗が低く、オーミックにより近くなっている傾向が見られる。次にMgが $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ になるとRu/Niで既に良好なオーミックが得られていることが分かる。このようにRuとNiを含む正電極を用いることにより、従来のNi/Auの電極に比較して、低いMg濃度で良好なオーミックが得られる。

【0013】正電極の材料としてはRuとNiとを含む金属であれば良く、Pt、Au、Ti、Pd等の他の金属を含んでいても良い。RuとNiとをそれぞれ単独で形成しても良いし、最初から合金の形として形成しても良い。それぞれ単独で形成する場合、積層順序は特に問うものではないが、好ましくはNiをGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層と接する側とすることが望ましい。さらにRuとNiとの比はRuをNiに対して0.1重量%以上、さらに好ましくは1重量%以上とすることが望ましい。0.1重量%以下であると低Mg濃度での好ましいオーミックが得られにくい。上限については特に限定しないが、Niに対して95重量%以下、さらに好ましくは90重量%以下に調整する。95重量%よりも多いと、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層との密着性が悪くなって、電極が剥がれやすい傾向にある。このような組成構成は正電極を層構造とした場合、若しくは合金とした場合でも同様である。

【0014】

【実施例】以下実施例において本発明を詳説する。図2は本発明の一実施例のレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、ストライプ状の正電極に垂直な方向、即ちレーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の構造を示すものである。以下、この図面を元に本発明の素子を説明する。なお、本明細書において示す一般式 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ は単に窒化物半導体の組成比を示すものであって、例えば異なる層が同一の一般式で示されていても、それらの層のx値、y値等が一致しているものではない。

【0015】[実施例1] サファイア(C面)よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃

まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイアC面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>等の半導体基板を用いることができる。

【0016】(バッファ層2) 続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>よりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層2はAl<sub>0.1</sub>N<sub>0.9</sub>、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>、AlGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>等が、900℃以下の温度で、0.1μm以下、好ましくは数十オングストローム～数百オングストロームで形成できる。このバッファ層は基板と窒化物半導体との格子定数不正を緩和するために形成されるが、窒化物半導体の成長方法、基板の種類等によっては省略することも可能である。

【0017】(n側コンタクト層3) バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>よりなるn側コンタクト層3を6μmの膜厚で成長させる。n側コンタクト層3はn型の $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ )で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはn型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>、Y値が0.1以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とすると負電極2と良好なオーミックが得られやすい。

【0018】(クラック防止層4) 次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}_{0.1}$ よりなるクラック防止層4を500オングストロームの膜厚で成長させる。このクラック防止層4はInを含むn型の窒化物半導体、好ましくはInGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>で成長させることにより、Alを含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。なおこのクラック防止層は100オングストローム以上、0.5μm以下の膜厚で成長させることが好ましい。100オングストロームよりも薄いと前記のようにクラック防止として作用しにくく、0.5μmよりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。なお、このクラック防止層4は成長方法、成長装置等の条件によっては省略することもできる。

【0019】(n側クラッド層5) 次に温度を1050℃にして、原料ガスにTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>を用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}_{0.1}$ よりなる第1の層を20オングストロームとSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>よりなる第2の層を20オングストローム成長させる。そしてこのペアを125回成長

させ、総膜厚 $0.5\mu\text{m}$ (5000オングストローム)の多層膜よりなるn側クラッド層5を成長させる。このn側クラッド層5はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa<sub>x</sub>N、若しくはGa<sub>x</sub>NまたはInGa<sub>1-x</sub>Nを含む第1の層と、第1の層と組成の異なる窒化物半導体よりなる第2の層との積層構造からなる多層膜層を成長させることが望ましい。このように単一膜厚が100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下の互いに組成の異なる窒化物半導体層を積層成長させた超格子構造とすると、単一の窒化物半導体層の膜厚が臨界膜厚以下となつて、結晶性が非常に良くなり、容易に室温で連続発振する。このクラッド層としての超格子層は、活性層よりも外側にあるn型窒化物半導体層、若しくはp型窒化物半導体層の内の少なくとも一方の層に存在させ、好ましくは両方の層に存在させることが望ましい。n側クラッド層5全体の膜厚は100オングストローム以上、 $2\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、 $1\mu\text{m}$ 以下で成長させることが望ましい。

【0020】(n側光ガイド層6) 続いて、1050℃でSiを $1\times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>x</sub>Nよりなるn側光ガイド層6を $0.2\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層6は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga<sub>x</sub>N、InGa<sub>1-x</sub>Nを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～ $5\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～ $1\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。なお、この層はノンドープ(不純物をドープしない)でもよい。

【0021】(活性層7) 次に、原料ガスにTMG、TMI、アンモニア、シランガスを用いて活性層7を成長させる。活性層7は温度を800℃に保持して、まずSiを $8\times 10^{18}/\text{cm}^3$ でドープしたIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、Siを $8\times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返して、最後に井戸層を積層した多重量子井戸構造とする。活性層にドープする不純物は本実施例のように井戸層、障壁層両方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。なおn型不純物をドープすると閾値が低下する傾向にある。

【0022】(p側キャップ層8) 次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp側キャップ層8を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層8はp型としたが、膜厚

が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型としても良く、またノンドープ(不純物をドープしない状態)でも良く、最も好ましくはp型とする。p側キャップ層8の膜厚は $0.1\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。 $0.1\mu\text{m}$ より厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層8中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。またキャリアがこのエネルギーバリアをトンネル効果により通過できなくなる。Alの組成比が大きいAlGa<sub>x</sub>N程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上のAl<sub>1-y</sub>Ga<sub>y</sub>Nであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層8の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0023】(p側光ガイド層9) 続いて、1050℃で、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたキャップ層よりもバンドギャップエネルギーが小さいMgドープp型Ga<sub>x</sub>Nよりなるp側光ガイド層9を $0.2\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。このp側光ガイド層9は、n側光ガイド層6と同じく、活性層の光ガイド層として作用し、Ga<sub>x</sub>N、InGa<sub>1-x</sub>Nを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～ $5\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～ $1\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。なお、この層もノンドープでも良い。

【0024】(p側クラッド層10) 続いて1050℃で、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>Nよりなる第1の層を20オングストロームと、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga<sub>x</sub>Nよりなる第2の層を20オングストローム成長させる。そしてこのペアを125回成長させ、総膜厚 $0.5\mu\text{m}$ (5000オングストローム)の多層膜よりなるp側クラッド層10を成長させる。このp側クラッド層10も、n側クラッド層5と同じく、キャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、AlGa<sub>x</sub>N若しくはGa<sub>x</sub>N又はInGa<sub>1-x</sub>Nよりなる第1の層と、第1の層と異なる組成を有する窒化物半導体よりなる第2の層との積層構造からなる多層膜層を成長させることが望ましい。このようにクラッド層を超格子構造とすると、単一の窒化物半導体層の膜厚が臨界膜厚以下となつて、結晶性が非常に良くなり、容易に室温で連続発振する。また活性層の発光を閉じ込めるための光閉じ込め層としても非常に効果的である。p側クラッド層10全体の膜厚は100オングストローム以上、 $2\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、 $1\mu\text{m}$ 以下で成長させることが望ましい。

【0025】本実施例のように量子構造の井戸層を有する活性層を有するダブルヘテロ構造の半導体素子の場合、その活性層7に接して、活性層7よりもバンドギャ

アップエネルギーが大きい膜厚0.1 $\mu$ m以下の窒化物半導体よりなるキャップ層、好ましくはAlを含む窒化物半導体よりなるp側キャップ層8を設け、そのp側キャップ層8よりも活性層から離れた位置に、p側キャップ層8よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層9を設け、そのp側光ガイド層9よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層9よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体、好ましくはAlを含む窒化物半導体を含む超格子構造を有するp側クラッド層10を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層8の膜厚を0.1 $\mu$ m以下と薄く設定してあるため、キャリアのバリアとして作用することなく、p層から注入された正孔が、トンネル効果によりp側キャップ層8を通り抜けることができ、活性層で効率よく再結合し、LEDの出力が向上する。つまり、注入されたキャリアは、p側キャップ層8のバンドギャップエネルギーが大きいので、半導体素子の温度が上昇しても、あるいは注入電流密度が増えても、キャリアは活性層をオーバーフローせず、p側キャップ層8で阻止されるため、キャリアが活性層に貯まり、効率よく発光することが可能となる。

【0026】(p側コンタクト層11)最後に、p側クラッド層10の上に、1050℃でMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなるp側コンタクト層11を1500Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層11はp型のIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(0 $\leq$ x, 0 $\leq$ y, x+y $\leq$ 1)で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGa<sub>1-x-y</sub>N、若しくはMgをドープしたy値が0.1以下のAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>Nとすれば、正電極20と最も好ましいオーミック接触が得られる。p側コンタクト層20の膜厚は500Å以下、さらに好ましくは300Å以下、最も好ましくは200Å以下に調整することが望ましい。なぜなら、抵抗率が高いp型窒化物半導体層の膜厚を500Å以下に調整することにより、さらに抵抗率が低下するため、閾値での電流、電圧が低下する。またアニール時にp型層から除去される水素が多くなって抵抗率が低下しやすい傾向にある。さらに、このp側コンタクト層11を薄くする効果には、次のようなことがある。例えば、p型AlGa<sub>1-x</sub>Nよりなるp側クラッド層に、膜厚が500Åより厚いp型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなるp側コンタクト層が接して形成されており、仮にクラッド層とコンタクト層の不純物濃度が同じで、キャリア濃度が同じである場合、p側コンタクト層の膜厚を500Åより薄くすると、クラッド層側のキャリアがコンタクト層側に移動しやすくなって、p側コンタクト層のキャリア濃度が高くなる傾向にある。そのため正電極20を形成するp側コンタクト層11のキャリア濃度が実質的に高くなって、良好なオーミックが得られる。

【0027】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0028】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、RIE装置でエッチングを行い、図2に示すように最上層のp側コンタクト層11と、p側クラッド層10とをエッチングして、4 $\mu$ mのストライプ幅を有するリッジストライプを形成する。リッジストライプを形成する際は、予めストライプ幅の中心が後に形成する負電極22に接近しているように設計する。リッジストライプを形成する場合、特に活性層よりも上にあるAlを含むp型窒化物半導体層以上の層をリッジ形状とすることにより、活性層の発光がリッジ下部に集中して、横モードが単一化しやすく、閾値が低下しやすい。また本実施例のように、絶縁性基板を使用した場合には、リッジ部のストライプの中央を活性層のストライプの中央とずらして、負電極22側に接近させる方が閾値を低下させる上で好ましい。

【0029】次に、リッジストライプの表面と、露出しているp側クラッド層10の表面とにマスクを形成し、同じくRIEでエッチングを行い、図2に示すように負電極22を形成すべきn側コンタクト層3の表面を露出させる。表面露出後、図2に示すように最上層にあるp側コンタクト層11のリッジストライプの最上層全面に、Ruを50%とNiを50%含む合金よりなる正電極20を、500Åの膜厚で形成する。

【0030】次に、先ほど露出させたn側コンタクト層3表面に、TiとAlよりなる負電極22をリッジストライプと平行に0.5 $\mu$ mの膜厚で形成する。なお、n側コンタクト層3と好ましいオーミックが得られる負電極22の材料としては、Al、Ti、W、Cu、Zn、Sn、In等の金属若しくは合金を挙げることができる。

【0031】次に、正電極20及び負電極22を形成した位置を除く窒化物半導体層の表面全面にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜12を0.5 $\mu$ mの膜厚で形成する。絶縁膜12形成後、正電極20の上にその正電極20と電氣的に接続したRuとAuとを含む取出用のパッド電極21を、絶縁膜12を介して、正電極の表面積よりも広い面積で、2 $\mu$ mの膜厚で形成する。パッド電極21はp側コンタクト層11とオーミック接触が得られていなくても良く、単に正電極20と電氣的に接続するだけでよい。好ましくは本発明の案子では、正電極に接して、Ni、Ru、Au、Ti、Ptよりなる群から選択された少なくとも2種類以上の元素を含み、正電極よりも表面積が広いパッド電極が、正電極よりも厚い膜厚で形成されていることが望ましい。パッド電極は、正電極よりも膜厚を厚くして、正電極の剥がれを防止すると共に、表面積を正電極よりも大きくしてあるため、本実施例のよ

うなレーザ素子のような場合には、正電極側にパッド電極からワイヤーボンディングするのを容易にすると共に、また正電極側をヒートシンク、サブマウントのような放熱体に接続する際に、接着面積を大きくして放熱性を向上させる。

【0032】以上のようにして、負電極22と正電極20とを形成したウェーハを研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側の基板1をラッピングし、基板の厚さを100 $\mu$ mとする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で1 $\mu$ mポリシングして基板表面を鏡面状とする。このように基板の厚さを100 $\mu$ m以下に薄くすることによって、レーザ素子の放熱性が高まる。

【0033】基板研磨後、研磨面側をスクライブして、リジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器長500 $\mu$ mの共振器を作製する。さらに共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にリジストライプに平行な方向で、バーを切断してレーザチップとする。

【0034】最後に、このレーザチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）でヒートシンクに設置し、それぞれの電極を金線よりなるワイヤー28でボンディングする。なおワイヤーボンディング時の位置は、図2に示すようにリジストライプの位置から離れた位置とする。リジストライプの真上を避けることにより、リジスト部に衝撃を与えないので、リジスト部の結晶が破壊されない。そして、このレーザチップのレーザ発振を試みたところ、室温において、発振波長405nmの連続発振が確認され、正電極20にNiとAuよりなる電極を形成したレーザ素子に比較して、閾値電流密度で5%、閾値電圧で2%の低下が見られ、寿命は1.5倍以上の寿命を示した。

【0035】【実施例2】実施例1において、正電極20を形成する際、最初にNiを100オングストローム蒸着し、その上にRuを400オングストロームの膜厚で蒸着する他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0036】【実施例3】実施例1において、正電極20を形成する際、最初にNiを100オングストローム蒸着し、その上にRuを100オングストロームの膜厚で蒸着し、その上にAuを200オングストロームの膜厚で蒸着する他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0037】【実施例4】実施例1において、p側コン

タクト層のMg濃度を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とする他は同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0038】【実施例5】実施例1において、p側クラッド層10のMg濃度を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とし、p側コンタクト層のMg濃度を $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ とする他は同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1に比較して、閾値電流密度で7%の上昇、閾値電圧で3%の上昇が見られたが、正電極にNiとAuよりなる合金で形成した実施例5と同様のレーザ素子に比較して、まだ閾値電流密度で10%、閾値電圧で4%も低下していた。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の素子ではp型不純物が低濃度でドーピングされたp型窒化物半導体でも、良好なオーミックが得られるため、特にレーザ素子のような閾値電流を下げる必要のある発光デバイスに対して非常に有効である。また、安定したオーミックが得られるため、製造工程でも正電極による不良の発生する確率が低くなり、信頼性に優れた素子を提供できる。また本明細書ではレーザ素子について説明したが、本発明はレーザ素子だけではなく、LED、受光素子等、p型窒化物半導体に正電極を形成した窒化物半導体デバイスであればどのようなものにも適用可能である。

【図面の簡単な説明】

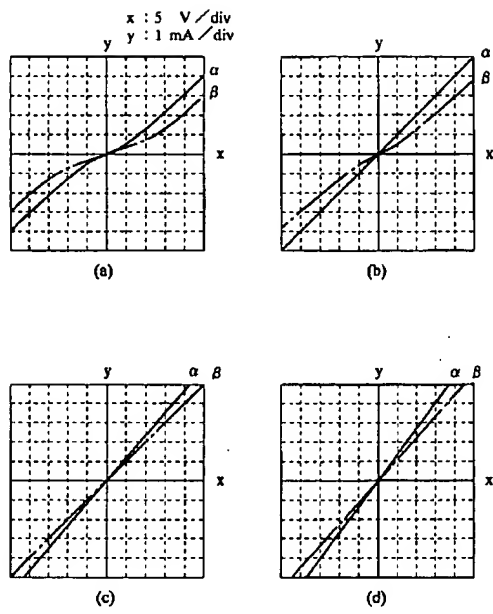
【図1】 p型不純物濃度の異なるp型GaN層に形成した正電極の電流電圧特性を(a)～(d)それぞれで比較して示す図。

【図2】 本発明一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n側コンタクト層
- 4・・・クラック防止層
- 5・・・n側クラッド層
- 6・・・n側光ガイド層
- 7・・・活性層
- 8・・・キャップ層
- 9・・・p側光ガイド層
- 10・・・p側クラッド層
- 11・・・p側コンタクト層
- 12・・・絶縁膜
- 20・・・正電極
- 21・・・パッド電極
- 22・・・負電極
- 23・・・ワイヤー

【図1】



【図2】

